

ENSAYOS SOBRE NODULACIÓN, RENDIMIENTO DE GRANO Y FIJACIÓN DE NITRÓGENO EN HABAS Y GARBANZOS

Fijación de nitrógeno de las leguminosas en función del sistema de laboreo

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del sistema de laboreo en la fijación de nitrógeno por los garbanzos y las habas cultivados en rotación con trigo bajo las condiciones de secano de la campiña andaluza. El ensayo de

campo fue realizado en un suelo Vertisol durante un periodo de seis años, en el marco del experimento de larga duración Malagón (Córdoba), iniciado en 1986, con parcelas en no laboreo y laboreo convencional.

Luis López Bellido*, Jorge Benítez-Vega*, Rafael J. López-Bellido*, Verónica Muñoz Romero y Fco. Javier López-Bellido Garrido**.

* Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes, Universidad de Córdoba.

** Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real.

La fijación biológica del nitrógeno es un importante aspecto ambiental y de sostenibilidad en la producción de alimentos y la productividad de los cultivos a largo plazo. La determinación precisa del nitrógeno fijado simbióticamente a través del *rhizobium* por las leguminosas es esencial para conocer el papel de éstas en la mejora de los agrosistemas y el mantenimiento de los niveles de nitrógeno del suelo. Para cuantificar la cantidad de nitrógeno fijado por la simbiosis el principal problema es la selección de un método apropiado.

El uso del isótopo estable de nitrógeno ^{15}N por el método de enriquecimiento (también denominado de dilución isotópica) ha sido ampliamente utilizado para valorar la fijación de nitrógeno de las leguminosas. Esta técnica mide la extracción del isótopo ^{15}N por un cultivo que fija nitrógeno, como la leguminosa, comparándolo con la de otro cultivo que no es fijador de nitrógeno, por ejemplo el trigo, al que se denomina

cultivo de referencia (López-Bellido *et al.*, 2006).

Entre las leguminosas de grano cultivadas en el área mediterránea, las habas han mostrado ser altamente fijadoras de nitrógeno y tener el mejor efecto rotación como precedente del cultivo del trigo en los Vertisoles de secano de las campiñas andaluzas (López-Bellido *et al.*, 2000). Por el contrario, el cultivo del garbanzo es frecuentemente considerado más pobre que el de habas en términos de fijación de nitrógeno, incluso en condiciones secas. Las razones de la baja fija-

ción de nitrógeno por el garbanzo en comparación con otras leguminosas no son bien conocidas, aunque este hecho es familiar entre los agricultores. Entre los motivos que ha sido aducidos son la ausencia de cepas de *rhizobium* apropiadas y el desarrollo superficial de los nódulos de las raíces del garbanzo en los suelos pesados como los Vertisoles, debido a la baja concentración de oxígeno. López-Bellido y López-Bellido (2001) han atribuido al garbanzo un efecto rotación menor que las habas y el barbecho.



Los suelos cultivados bajo no laboreo ofrecen condiciones muy favorables para la simbiosis, tales como temperaturas óptimas del suelo, mayor disponibilidad de agua y tasas más bajas de mineralización y nitrificación, que estimulan la fijación biológica del nitrógeno (López-Bellido et al., 2006). Asimismo, también se ha señalado que el *mulching* de paja del no laboreo puede afectar a la nodulación y a la fijación de nitrógeno indirectamente al influir en el ambiente físico, químico y biológico del suelo. Sin embargo, otros estudios indican que el sistema de laboreo no afecta significativamente a la fijación de nitrógeno por las leguminosas.

Experimento de campo

El ensayo de campo fue realizado en un suelo Vertisol de la campiña andaluza, durante un período de seis años (2001-2002 a 2006-2007), en el marco del experimento de larga du-

CUADRO I.

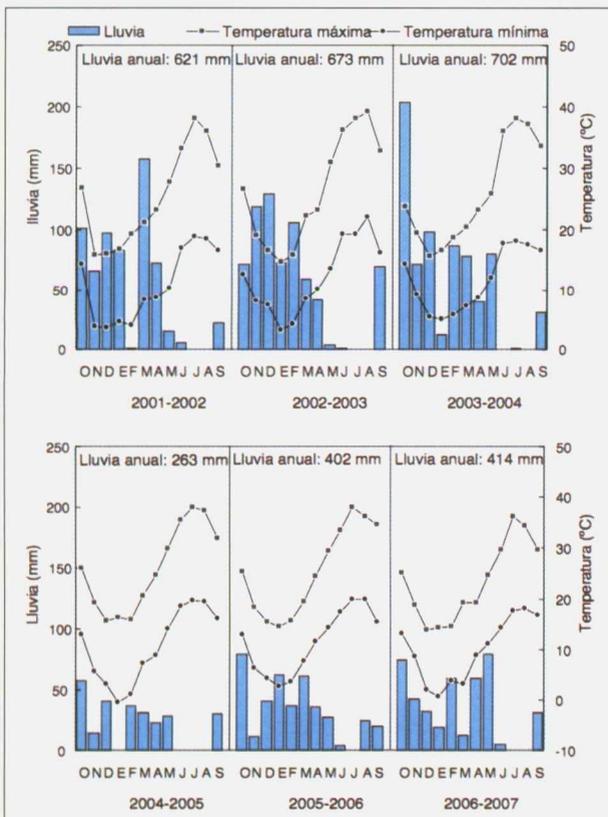
Influencia del sistema de laboreo y del año en el número y peso seco de nódulos/planta y en el rendimiento de grano de garbanzos y habas.

Índice	Sistema de laboreo	Año						Media
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	
Garbanzos:								
Nº nódulos/planta	NL	-	-	50a	31a	28a	20a	32A
	LC	-	-	49a	16b	18b	15a	24B
Peso seco nódulos/planta (g)	NL	-	-	0,53a	0,10a	0,13a	0,17a	0,23A
	LC	-	-	0,57a	0,02b	0,07b	0,09b	0,19B
Rendimiento de grano (kg/ha)	NL	1.248a	872a	723a	256b	311b	673a	680A
	LC	878b	498b	560a	511a	971a	830a	708A
Habas:								
Nº nódulos/planta	NL	-	-	156a	56a	93a	17a	80A
	LC	-	-	164a	49a	33b	11a	64B
Peso seco nódulos/planta (g)	NL	-	-	0,33b	0,08a	0,20a	0,04a	0,16A
	LC	-	-	0,39a	0,04b	0,05b	0,02a	0,12B
Rendimiento de grano (kg/ha)	NL	1.135a	2.687a	1.934a	230a	1.040a	1.935a	1.493A
	LC	588b	2.321b	1.020b	10b	179b	1.565a	947B

Para cada año y la media, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según la mínima diferencia significativa

FIGURA 1.

Lluvia mensual y anual y media de temperaturas en el periodo de seis años en el experimento Malagón (Córdoba).



ración Malagón (Córdoba) iniciado en 1986. Las parcelas principales fueron dos sistemas de laboreo (no laboreo -NL- y laboreo convencional -LC-) y las subparcelas fueron las rotaciones bianuales trigo-garbanzos y trigo-habas. El área de cada subparcela fue 50 m² (10 x 5 m).

Las variedades utilizadas fueron Zoco (garbanzo) y Alameda (habas), que se sembraron en febrero y principios de diciembre, respectivamente. Para el control de la rabia (*Ascochyta rabiei*) se utilizó clortalonil y para el jopo de las habas (*Orobanche crenata*) se aplicó glifosato en postemergencia a las dosis recomendadas.

El isótopo estable ¹⁵N fue usado para el cálculo de la fijación de nitrógeno por ambos cultivos, por el conocido método de dilución isotópica, siendo el trigo la planta de referencia. Para ello se establecieron dentro de cada parcela de garbanzos, habas y trigo

microparcelas de 1 x 2 m, a las que se aplicó en forma de urea nitrógeno fertilizante marcado (¹⁵N) a las dosis de 30 kg/ha para ambas leguminosas y de 100 kg/ha al trigo. La proporción de nitrógeno en las plantas de garbanzos y habas derivada de la fijación atmosférica (%Ndfa) fue calculada según las fórmulas de Rennie y Dubetz (1986) y Peoples y Herridge (1990). La cantidad de nitrógeno fijado por cada leguminosa, expresada en kg/ha, fue calculada multiplicando el %Ndfa por el contenido de nitrógeno en la biomasa de ambos cultivos.

El número y peso seco de los nódulos por planta fue determinado al final de la floración de ambas leguminosas, muestreándose al azar diez plantas de cada parcela incluidas las raíces.

Las parcelas de ensayo se recolectaron con una cosechadora de ensayos para determinar el rendimiento de los cultivos.

Resultados

Nodulación de las leguminosas

El número y peso seco de nódulos/planta difirió según los años y el sistema de laboreo, tanto en garbanzos como en habas (cuadro I). En el conjunto de los años de estudio (2004 a 2007), el no laboreo registró mayor número y peso seco de nódulos/planta que el laboreo convencional (cuadro I). Esta diferencia entre

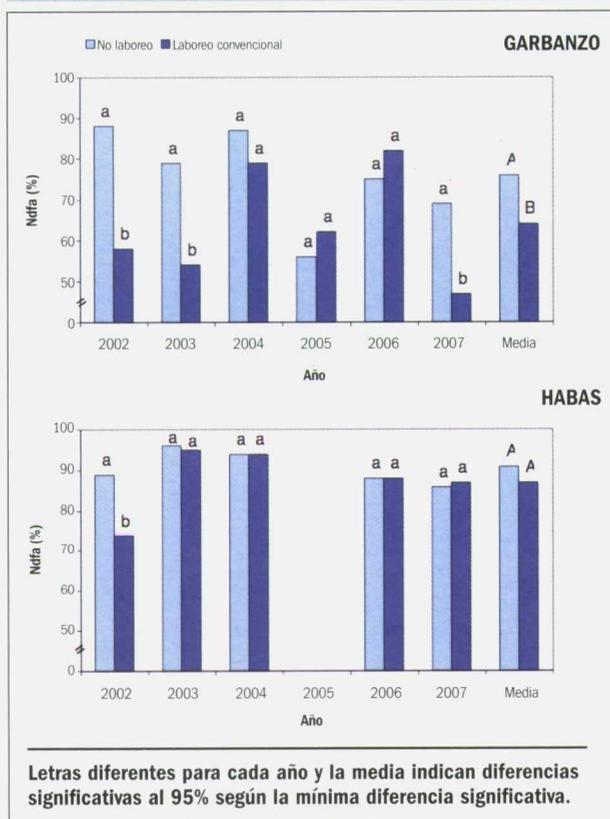
ambos sistemas de laboreo puede ser debida a que el no laboreo induce en el suelo un ambiente más propicio para el *rhizobium*, al conservar más la humedad y alterar favorablemente la temperatura. También los cambios en la estructura de los agregados del suelo derivados del no laboreo inducen una mayor acumulación y secuestro de C y cambios en la relación C/N del suelo, que podrían favorecer la formación y crecimiento de los nódulos. El promedio del número de nódulos/plantas de las habas fue más de 2,5 veces superior al del garbanzo, aunque el peso seco de los mismos fue casi el 70% mayor en este último cultivo (**cuadro I**). En ambas leguminosas, el año más lluvioso (2004) fue el que registró el mayor número y peso seco de nódulos, con gran diferencia respecto a los demás años (**figura 1 y cuadro I**). Sin embargo, los valores de nódulos no mostraron de forma clara tener relación con el rendimiento de grano de garbanzos y habas (**cuadro I**). Esta falta de relación significativa también ha sido señalada por otros estudios realizados en la región mediterránea, donde tanto garbanzos como habas se cultivan tradicionalmente desde largo tiempo y donde no es una práctica habitual la inoculación con *rhizobium*. Esta ausencia de relación podría atribuirse a la complejidad de factores que intervienen bajo condiciones de campo, donde puede influir la poca eficiencia o ineffectividad de las cepas nativas del *rhizobium* así como otros factores relacionados con las condiciones ambientales y de cultivo, tales como la sequía, la aplicación sistemática de nitrógeno fertilizante a las rotaciones de cultivo que incluyen cereal, el déficit de otros nutrientes en el suelo, la aplicación de herbicidas, el ataque de plagas de suelo, etc.

Rendimiento de grano

En conjunto, el rendimiento de grano fue influenciado significativamente por el año en ambas leguminosas, y por el sistema de laboreo solo en las habas (**cuadro I**). Sin embargo la interacción año x sistema de laboreo fue significativa en los dos cultivos.

En los años 2002 y 2003 el no laboreo registró mayor rendimiento que el laboreo conven-

FIGURA 2.
Influencia del año y del sistema de laboreo en la fijación de nitrógeno por garbanzo y habas, expresada por el porcentaje de nitrógeno en la planta derivado de la atmósfera (%Ndfa).



cional en el garbanzo, y a la inversa en el año 2006 (**cuadro I**). La cantidad y distribución de la lluvia anual (**figura 1**) influyó considerablemente en el rendimiento de garbanzo, al ser un cultivo muy sensible a las variaciones climáticas durante su corta estación de crecimiento, en especial en el período de floración-llenado de vainas, que tiene lugar en los meses de abril-mayo. Por lo general, el rendimiento de garbanzo fue más alto en los años que registraron mayor cantidad de lluvia en primavera, lo cual fue más evidente en los años 2002 y 2007 (**figura 1 y cuadro I**).

En las habas, el no laboreo registró globalmente un mayor rendimiento de grano que el laboreo convencional, lo cual también ocurrió en cinco de los seis años de estudio, tres de ellos los más lluviosos. A diferencia del garbanzo, el más largo período de crecimiento de las habas, con siembra a finales de otoño, indujo que el rendimiento de grano tuviera mayor dependencia

de la cantidad total de lluvia registrada en la estación de crecimiento (**figura 1 y cuadro I**). Sin embargo, la distribución de la lluvia también influyó en el rendimiento como ocurrió en el año 2006-2007, que registró un elevado rendimiento de grano a pesar de ser un año seco, debido a que la precipitación fue óptima en el período de formación y llenado de las vainas de habas (**figura 1 y cuadro I**). Por el contrario, el año 2004-2005, que fue extremadamente seco, hubo una drástica reducción de cosecha, que fue prácticamente cero en el laboreo convencional (**figura 1 y cuadro I**).

También hay que atribuir las variaciones del rendimiento a la incidencia variable, según los años, del jopo en las habas y de la raba y el *fusarium* en garbanzo, que son enfermedades endémicas en la zona y cuya virulencia está muy influenciada por el clima y también por el sistema de laboreo (López-Bellido, *et al.*, 2004, López-Bellido 2009).

Fijación de nitrógeno

En el conjunto del período de estudio, el porcentaje de nitrógeno derivado de la fijación atmosférica (%Ndfa) en garbanzo varió significativamente según los años y el método de laboreo (**figura 2**). El no laboreo registró valores medios más altos del %Ndfa que el laboreo convencional: 76 y 64%, respectivamente (**figura 2**). Los años 2002, 2003 y 2007, los de mayor rendimiento de garbanzo, fueron en los que se registró mayor %Ndfa en el no laboreo frente al laboreo convencional (**figura 2**).

En habas, a diferencia del garbanzo, el método de laboreo, globalmente, no incluyó significativamente en el %Ndfa; y sólo se registraron diferencias en el año 2002 (**figura 2**). Sin embargo, existió una correlación positiva significativa entre el % de Ndfa y el número de nódulos de *rhizobium* por planta.

La cantidad de nitrógeno fijado, expresada en kg/ha, varió significativamente según los años y el sistema de laboreo en ambas leguminosas (**figura 3**). En todos los casos, el no laboreo registró mayor cantidad de nitrógeno fijado que el laboreo convencional: 35 y 27 kg/ha en garbanzo y 92 y 69 kg/ha en habas, respectiva-

mente (figura 3). También existió, aunque solo en habas, una relación directa entre la cantidad de nitrógeno fijado y el rendimiento de grano.

El cultivo de habas, por tanto, registró niveles más altos de fijación de nitrógeno que el cultivo de garbanzo. Puede afirmarse, en este sentido, que en los sistemas de cultivo de secano mediterráneo, las habas pueden contribuir positivamente al conjunto de la economía del nitrógeno, particularmente cuando el sistema de cultivo es evaluado a largo plazo. Por el contrario, el garbanzo puede considerarse como una leguminosa que normalmente alcanza solo un modesto nivel de fijación de nitrógeno, por lo que su contribución al nitrógeno del suelo es escasa.

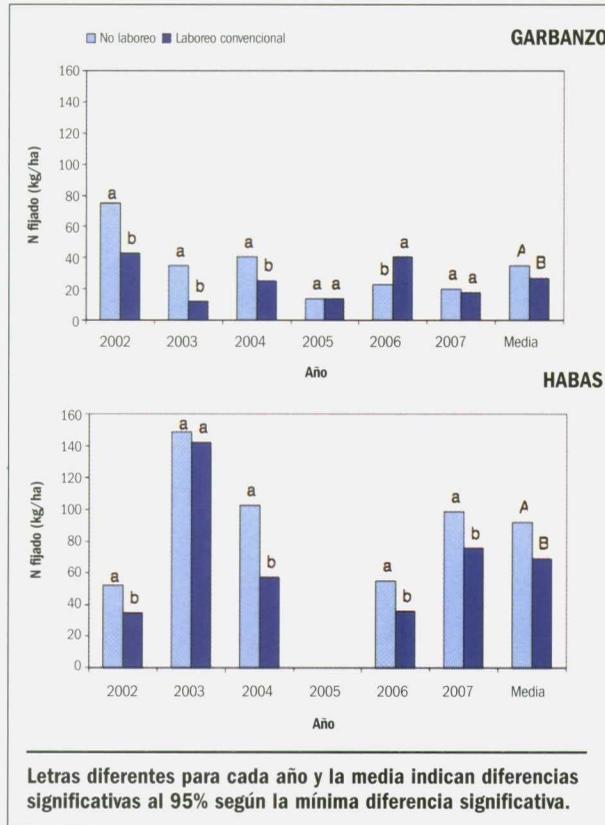
Sin embargo, hoy es bien conocido que el balance de nitrógeno fijado por las leguminosas es subestimado cuando solo se considera la contribución de la biomasa aérea y no se tiene en cuenta el nitrógeno aportado por la raíz y la rizodeposición (ver el artículo "Influencia del sistema de laboreo en la rizodeposición de nitrógeno de habas y garbanzos" en este mismo número de **Vida Rural**). En este sentido, se ha señalado que el total de nitrógeno fijado por las leguminosas podría ser del orden del 50 al 100% mayor que cuando se estima solo teniendo en cuenta la parte aérea de la planta. Parece por tanto más realista tener en cuenta también la aportación de la biomasa radicular a la hora de considerar la verdadera contribución del nitrógeno fijado por las leguminosas a los sistemas agrícolas. Esto es particularmente importante en el caso de las leguminosas de grano, como garbanzos y habas, donde una gran cantidad de nitrógeno se almacena en el grano que es recolectado.

Conclusiones

Las fuertes variaciones interanuales en la cantidad y distribución de la lluvia durante los años de estudio indujeron profundas diferencias en el comportamiento de los garbanzos y habas: rendimiento de grano, biomasa de nódulos de *rhizobium* y fijación de nitrógeno.

El sistema de laboreo ejerció una influencia

FIGURA 3.
Influencia del año y del sistema de laboreo en la fijación de nitrógeno por garbanzos y habas, expresada por la cantidad de nitrógeno atmosférico fijado por el cultivo (kg/ha).



Letras diferentes para cada año y la media indican diferencias significativas al 95% según la mínima diferencia significativa.

Entre los resultados de este ensayo cabe destacar que el no laboreo mejora de forma significativa la nodulación y la fijación de nitrógeno de garbanzos y habas respecto al laboreo convencional

significativa en el rendimiento de grano (solo en habas), la biomasa nodular y la fijación de nitrógeno, siendo el no laboreo el que consistentemente tuvo mayores valores respecto al laboreo convencional.

El cultivo de habas registró un %Ndfa más alto que el de garbanzo (89 y 70%, respectivamente). También fue superior el nitrógeno fijado por las habas frente al garbanzo: 80 y 31 kg/ha/año, respectivamente.

La contribución al N del suelo de las raíces y de la rizodeposición de las leguminosas debe ser tenida en cuenta a la hora de valorar el verdadero papel de éstas como precedentes del cereal en las rotaciones de cultivo. No obstante, se requieren más investigaciones para profundizar en el conocimiento y mejorar la actuación del *rhizobium* en la fijación de nitrógeno en condiciones de campo y valorar mejor la contribución de sistema radicular al nitrógeno del suelo. ●

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos del Plan Nacional de I+D+I AGL2003-03581 y AGL2006-02127/AGR. Nuestro agradecimiento a la empresa ABECERA, propietaria de la Finca Malagón donde se ubica el experimento, por toda la colaboración prestada. Además, un especial agradecimiento a Joaquín Muñoz, José Muñoz y Auxiliadora López-Bellido por su excelente ayuda en los trabajos de laboratorio y de campo.

Bibliografía ▼

- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Castillo, J.E. and López-Bellido, F.J. 2000. Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal*, 92: 1054-1063.
- López-Bellido, R.J. y López-Bellido, L. 2001. Effects of crop rotation and nitrogen fertilization on soil nitrate and wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomie* 21, 509-516.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Castillo, J.E., y López-Bellido, F.J. 2004. Chickpea response to tillage and soil residual nitrogen in a continuous rotation with wheat I. Biomass and seed yield. *Field Crops Research*, 88, 191-200.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Redondo, R., Benítez, J. 2006. Faba bean nitrogen fixation in a wheat-based rotation under rainfed Mediterranean conditions: effects of tillage system. *Field Crops Research*, 98, 253-260.
- López-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Benítez-Vega, J. 2009. No-Tillage Improves Broomrape Control with Glyphosate in Faba-Bean. *Agronomy Journal*, 101 1394-1399.
- People, M.B., Herridge, D.F. 1990. Nitrogen fixation by legumes in tropical and subtropical agriculture. *Adv. In Agron.* 44, 155-223.
- Rennie, R.J. and Dubetz, S. 1986. Nitrogen-15-Determined nitrogen fixation in field-grown chickpea, lentil, fababean and field pea. *Agron. J.* 78: 654-660.